

光触媒の広がり

藤嶋 昭

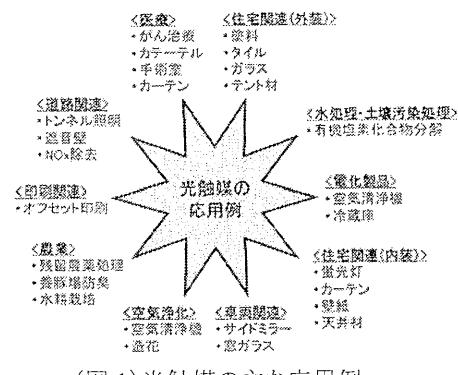
酸化チタンを代表とする光触媒は、環境を浄化する材料として私たちの身近に幅広く応用されてきています。光触媒が世の中に普及した理由は、それが「酸化分解力」と「超親水性」という魅力的な二つの大きな機能をもつからといってよいでしょう。現在、光触媒の応用分野は非常に広く、タイルやガラス、アルミパネル、テントなどと多岐に渡ります。防曇機能、抗菌機能、抗ウイルス機能を始め、その特性を利用した製品の開発もさかんで製品化がどんどん進んでいます。ここでは光触媒の現状とこれからの広がりを解説してあります。

1. はじめに

酸化チタンを代表とする光触媒は、環境浄化材料として我々の身近に幅広く応用されてきています。例えば、光触媒フィルターを搭載した空気清浄機は、煙草の煙や空中の浮遊菌を除去できることから、新型の東海道新幹線（N700 系）や病院に設置されており、また光触媒を塗布したビルの窓ガラスやタイルは建物の防汚に役立っています。

図 1 に示しますように、光触媒に関する製品はこれまで数多く登場し、住宅関連、電化製品、車両、道路関係、農業、水処理、衣料、生活用品、医療分野など、市場規模は国内だけでも現在 800 億円以上にもおよんでいます。

これほどまでに光触媒が世の中に普及したのは、それが「酸化分解力」と「超親水性」という魅力的な二大機能をもつからといってよいでしょう。これらの機能が発現するメカニズムの説明は光触媒関連のコストや私たちが発表している英文の総説などに譲るとして、その酸化分解力は強力であり、ほとんどすべての有機物を分解して、最終的には二酸化炭素と水にすることができます。そのため、消臭や除菌、防汚等に役立ちます。一方、超親水性は、水の接触角が 5° 以下になる現象であり（光誘起超親水性）、防曇機能をもつ鏡・ガラスや、防汚性をもつ住宅の外壁や窓ガラスなどへと応用されています。



(図 1) 光触媒の主な応用例

2. 反応のベースは酸化チタンと光

さて、「光触媒」とはいったいどういうものでしょうか？触媒というのは、そのものの自身は反応の前後で変化しないのですが、化学反応を速く進める効果のある物質のことです。ですから、「光」が当たったときに「触媒」として働くものが「光触媒」ということになります。

例えば、植物の光合成を思い出してみてください。光合成は、太陽光によって二酸化炭素と水が反応して、デンプンと酸素ができる反応ですが、単に二酸化炭素と水を混ぜたものに光を当ててもこの反応は進みません。植物のもつ葉緑素が太陽光を吸収することによって、初めてデンプンと酸素が生まれるので。しかも、反応の前後で葉緑素はまったく変化しません。葉緑素が吸収した光エネルギーを利用して反応が進むのです。この場合、葉緑素はまさに「光触媒」である、と言うことができます。

酸化チタン光触媒反応においては、光合成反応の葉緑素に相当するものが酸化チタン(TiO_2)という物質です。酸

化チタンは特別珍しい物質ではありません。

酸化チタンは白色の物質であり(本来は透明ですが、光の散乱によって白く見えます)、昔から白色顔料として用いられてきました。また私たちの身の回りには酸化チタンを用いたものが多くあり、例えば、歯磨き粉や不透明性を確保するためにインディアペーパー(辞書等に使われている薄い紙)に使われたり、食品添加物としてホワイトチョコレートにも含まれています。さらには紫外線遮蔽材として日焼け止めクリームにも含まれており、私たちは酸化チタンを日常的に使用しています。酸化チタンの原料であるチタンはクラーク数(地球上の地表付近(海面下約 16km)を構成する元素の割合を質量パーセントであらわしたもの)が 10 番目であり、実用金属としてアルミニウム、鉄、マグネシウムに次ぐ地殻埋蔵量です。チタンを含む鉱石は多数知られていますが、現在使用されているものはイルメナイト鉱、ルチル鉱、アナターゼ鉱の 3 種類です。イルメナイト鉱は酸化チタンと酸化鉄(FeO)がモル比 1:1 で結晶格子を形成している $FeTiO_3$ を主成分としている鉱石で、酸化チタンの原料として最も一般的に用いられています。ルチル鉱は酸化チタンを主成分とした鉱石ですが、イルメナイト鉱に比べて埋蔵量が少ないです。酸化チタンの原石は世界各地に分布しており、特に北米とオーストラリアから酸化チタンの原料が生産されています。

酸化チタンは紫外線を吸収することで光触媒の性質を発揮します。しかし太陽光や私たちが日常的に使う蛍光灯などには紫外線がそれほど多くは含まれていないため(太陽光の中に含まれる紫外線は 3%)、光触媒の性質を高感度、高効率に発揮させるために可視光に応答する光触媒の開発が求められています。最近では酸化タンゲステン(WO_3)を用いた光触媒が可視光に応答するため、これをベースとした新しい光触媒が勢力的に開発されています。また酸化タンゲステンに限らず様々な種類の光触媒が開発されており、そのほとんどが無機化合物半導体となっています。

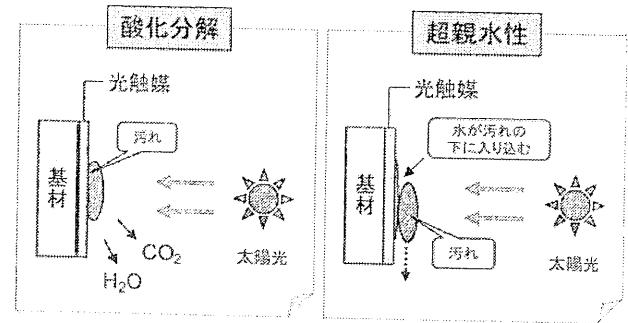
3. 酸化分解と超親水性

酸化チタンと光が、光触媒反応のキーワードです。酸化チタンが光を吸収したときに、その表面で図 2 に示すような 2 つの現象がおこります。

1 つは光触媒分解といって、表面にきた物質を分解する反応です。例えば有機物は二酸化炭素と水に分解されま

す。この反応は光が当たるときに、光の量の分だけ起こります。通常の燃焼反応と異なり、温度の上昇もなく室温の状態で反応が進みます。

もう 1 つの超親水化は、水に非常になじみやすくなる現象です。一般的に多くの材料では、表面に水を落とすと水滴が付きますが、酸化チタンをコーティングした材料に光を当てるとき、水は水滴にならずに、ほぼ完全に一様な膜として広がります。このため油汚れなどが付着しても水をかけるだけで、汚れの下に水がしみ込んで汚れを浮かせ、簡単に水で洗い流すことができます。また、水滴ができないことから、曇らないガラスや鏡としての応用もできるわけです。すでに車のサイドミラーに応用され、雨の日でも水滴が付かず良好な視界を確保できる技術として好評を得ています。



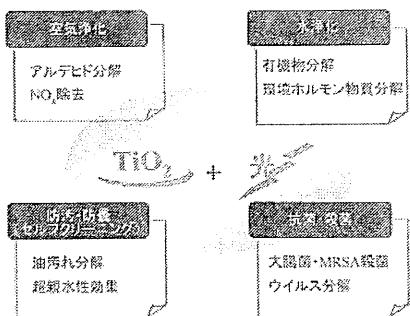
(図 2)酸化分解と超親水性

4. 広がる応用分野

図 3 に示したように、光触媒の基本分野は現在のところ「空気浄化」、「水净化」、「抗菌・殺菌」、および「防汚・防曇(セルフクリーニング)」の 4 つに分けて考えることができます。

光触媒の応用例を産業分野別に図 1 に示しましたが、住宅関連分野では、外装タイル、アルミ建材、ガラス、塗料、テント材などの外装建材の領域で広く光触媒のセルフクリーニング効果を付与する製品開発が行われています。また、内装材では、ブラインド、鏡、蛍光灯、内装タイルなどで、光触媒のセルフクリーニング効果に加えて、抗菌、脱臭の効果も併せもつ製品の開発が進んでいます。

その他、電気製品、車両関連、道路関連、農業関連、水処理・土壤汚染関連、空気処理関連、医療関連など、たいへん広範な産業分野で光触媒を応用した製品開発が進められています。

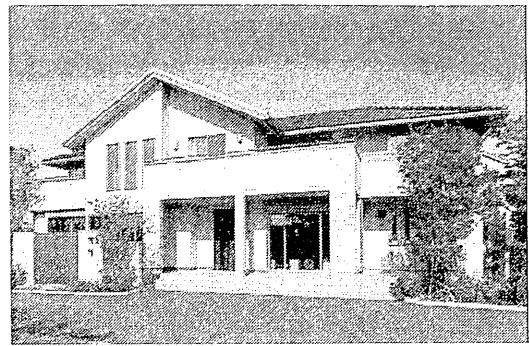


(図 3) 光触媒の基本分野

5. 光触媒タイルの活躍

光触媒がはじめて応用化されたのが 1992 年のことです。当時は院内感染の問題が深刻化して社会的に大きな問題となっていたため、病院の手術室の壁などに使用されるタイルに光触媒をコーティングして空中浮遊菌などを除去するアイデアが生まれました。実際に手術室の壁と床を光触媒タイルにすると、光触媒の酸化分解力により空中浮遊菌の数が激減することが明らかになりました。この光触媒タイルは、他にもトイレ、浴槽などの内装にも使用され、現在では主に抗菌、防かび、防汚等の用途に使われています。

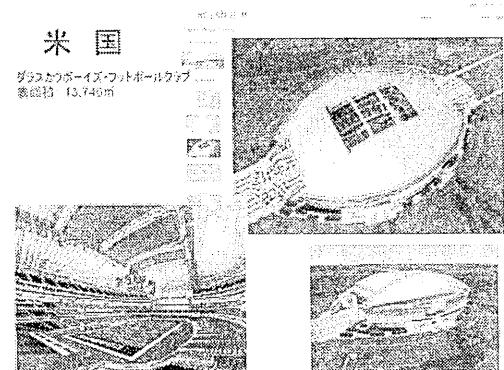
一方、1995 年に光誘起超親水化が見出され、防曇やセルフクリーニングといった新たな応用展開が始まり、光触媒が本格的な市場化に至るきっかけとなりました。セルフクリーニングは光触媒表面をいつまでもきれいな状態を保つ機能であり、強い酸化分解力と超親水性という二つの機能の相乗効果によって達成されます。セルフクリーニング機能により、光触媒表面についた有機物の汚れは分解されつつ(酸化分解力)、雨水などによって洗い流される(超親水性)ためです。そのため、家屋や高層ビルの外壁・窓などに光触媒を用いると、付着した汚れが自然と除去されるため、清掃作業の手間が少なくなるだけでなく、清掃にかかる費用が削減され、高層ビルでの清掃作業に伴うリスクも解消されます。セルフクリーニング機能をしめす光触媒タイルが実際に数千棟ものビルで使用されていることから、その有用性が認められています。(写真 1)



(写真 1) 日本での光触媒タイルの使用例

6. 光触媒テント

最近では、光触媒コーティングしたテント材が、駅のホームの屋根などに多く用いられています。こうした白色のテント屋根は、鮮やかな視覚効果やデザイン性のみならず、熱線をさえぎり、可視光をテント内部に取りこむ効果も有しています。したがって気温を低く保ちながらテント内部を明るくでき、省エネに役立つと考えられています。従来の白色のテントは汚れが目立ってしまうため、あまり使われてこなかったのですが、前述のセルフクリーニング効果をもつ光触媒テント材は清浄な表面を維持することができます。写真 2 はアメリカのフットボール競技場でも活躍する光触媒テントを示します。



(写真 2) アメリカのフットボール競技場

7. 光触媒空気清浄機の開発

酸化チタン光触媒系がもつ強い酸化分解力を利用した水やアルコールの光分解が研究者たちの間で盛んに研究されてきましたが、1980 年頃からは有機物の分解反応にも研究の範囲が広がり、やがて、こうした基礎研究は、臭いの原因にあたる有機物を光触媒によって分解することで空気

浄化へと応用できるのではないかというアイデアへつながり、空気清浄機という形で実用化されるようになりました。

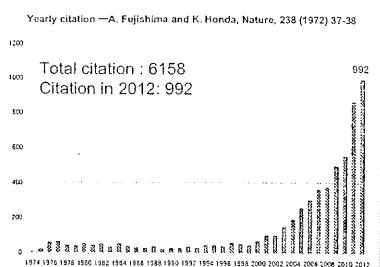
1990 年代から 2000 年代になると、いわゆるシックハウス症候群と呼ばれる家屋などの製造の際に利用される接着剤や塗料などに含まれる揮発性有機溶剤が原因の健康被害が増加したため、光触媒技術を応用した家庭用空気清浄機が開発されるようになりました。従来の空気清浄機はフィルターによる吸着を主体としているのですが、吸着が飽和に達すると性能が落ちてしまいますが、光触媒技術を応用した空気清浄機では、吸着後の物質を光触媒によって分解するため、吸着物が飽和することなく、原理的にはいつまでも効果的な浄化性能が得られます。さらに、空中浮遊菌などをも除去することができるため、家だけでなく病院やペット店、ホテル、レストラン、食料庫など様々な場所で使用されるようになってきています。

8. ますます広がる光触媒の応用

光触媒の応用としては、例えば強い酸化力をを利用して各種菌が殺菌できますので、がん治療への応用も研究され続けていますし、インフルエンザウイルスにも効果があることから、可視光応答光触媒系を利用した空気清浄機が研究されています。また、農業への応用としては養液栽培における循環水に対する応用もさかんに研究されてきていて、一部は実用化されています。

このように、いろいろな分野への応用が可能なことから、光触媒の基礎研究をする人も世界的に増えてきていて、そのためか、私たちが 41 年前に報告した *Nature* 論文の引用回数も増加してきて、昨年(2012 年)では 992 件と最大になっており、私自身もおどろいているところです。(図 4)

また最近では全国で使用されている高校の化学の教科書や中学校での理科の教科書にも「光触媒」が説明されていて、この分野の研究を長年続けてきた者としては研究者冥利につきる思いをしています。



(図 4) *Nature* 論文(1972)の引用数の変化

9. 光触媒国際研究センター

平成 25 年 4 月東京理科大学野田キャンパスに光触媒国際研究センターがオープンします。経済産業省の产学研官の「技術の橋渡し拠点」の事業に選ばれ、図 5 のような 4 階建て、2600 m²の研究センターができます。このセンターの建物もすべて光触媒の応用したものですが、世界の光触媒の研究のメッカとして働いていく予定です。

上述しましたように近年の光触媒及び関連する技術は、住宅関連分野、浄化機器分野、生活・医療分野を中心に対応展開され、光触媒評価の標準化(ISO)に関する国際協調事業も進行しています。しかし、いくつかの課題は依然として残されたままです。例えば、蛍光灯の光でも屋内を十分浄化できる高効率可視光応答型光触媒の開発や、細胞生物学・微生物学や光線力学療法を融合させた殺菌・治療技術の確立、そして、光触媒反応発見以来の重要な課題ともいえる、実用的な量の水素を生成できるような光触媒水分解システムの構築などがあげられます。

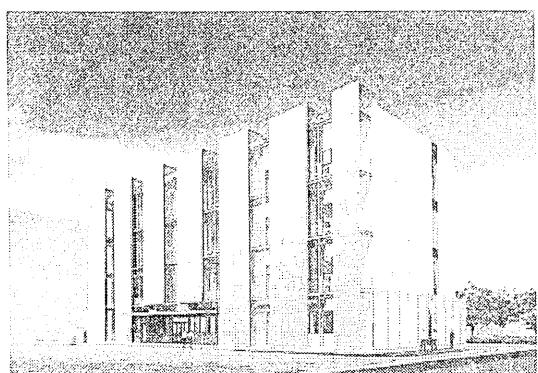
光触媒国際研究センターでは、それらの課題を踏まえ、これまでの実績を基に、产学研官の協同による実証研究によって光触媒を総合システムとして開発していきます。これによって、光触媒研究がさらに発展し、実用的な環境浄化・エネルギーに関わる総合システムの構築を目指します。

本センターは光触媒の要素技術研究から実証試験までを含めた総合システム開発を行える拠点であり、建物の壁や内装に開発物を取り付けて実験を行ったり、設備・機器を参画企業へ開放することで光触媒の基礎研究から応用開発、製品試験等による産業化までの様々な規模での実証実験が一箇所で行えます。例えば、①建物の外壁・内壁部分に開発物を取り付けた実証実験、②大気浄化装置実証実験、③耐久性試験、④加速劣化試験、⑤性能評価試験、⑥脱臭・殺菌効果評価試験、⑦水浄化試験、⑧光触媒関連材料の合成実験などを行うことができます。

そのため、大企業とは共同研究による R&D から製品化までの連携、中小企業やこれから光触媒を利用した製品開発を始める企業とは技術指導、情報提供などの連携が行なえ、企業規模に応じた活用が可能となり、幅広い産業界からの活発な利用が期待されています。例えば、セルフクリーニングに関する製品化を手がけてきた大企業や、先端的な研究開発を行ってきた複数の企業と協力体制を構築することで市場ニーズに応じた開発とともに、これまでに蓄積したノウハウを活用し、イノベーション的な開発も可能と

なります。また、エネルギー産業や化学工業において、人工光合成による簡便でランニングコストが安い水素製造や二酸化炭素の資源化に大きな期待が集まっていますが、この研究を行っている企業や自治体はほとんどないのが現状であり、研究手法等が広まっていません。そこで、人工光合成については、基礎研究の段階であるが当面、拠点を通して、企業等における人工光合成の研究のスタートアップを支援する等の技術指導を行っていく予定です。この研究分野における情報交換や技術交流の場としての機能を果たしています。さらに、環境浄化については、すでに多数の企業との環境浄化機器の共同開発が行われており、活発な研究開発がおこなわれると期待しています。

また、キャンパス内に立地するため、必要に応じて建築、土木、電気工学、生物工学などの幅広い学問分野の研究者と共同研究を行うことも可能です。さらに、千葉県及び関東近県の大学等とも連携し、光触媒を総合システムとして組み上げるため、専門知識・技術をもった研究者間の交流も行う予定です。そして何よりも、本センターの名称に敢えて『国際』を入れているのは、世界規模での拠点を目指しているからです。まさに光触媒のメッカとなるよう、良いもの、本物を追求した研究開発、製品化によって、世界に発信できることが最大の特色です。



(図 5) 光触媒国際研究センター

光触媒に関する著者自身の最近の主な解説、総説、著書など

- 1) 酸化チタン光触媒で快適空間を作る
クリンネス No327, 2013年2月号, 2-7(2013), 藤嶋 昭
- 2) Photoelectrochemical properties of TiO₂ photocatalyst and its applications for environmental purification
Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 2012, 13, 247-262., T. Ochiai, A. Fujishima

- 3) TiO₂ photocatalysis: Design and applications
Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 2012, 13, 169-189., K. Nakata, A. Fujishima
- 4) 光触媒が未来をつくる
岩波ジュニア新書 2012, 藤嶋 昭
- 5) 産業を創出する光触媒
工業材料 2011, 59, 72., 藤嶋 昭、中田一弥、落合 剛
- 6) 光触媒の歴史及び現状～将来動向総説
光技術コンタクト 2011, 中田一弥、藤嶋 昭
- 7) 太陽と光しょくばいものがたり
偕成社 2010, 藤嶋 昭、かこさとし、村上武利、中田一弥、落合剛、野村知生 共著